

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

AA

(11)Publication number : 10-093164

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/07

H01S 3/10

H04B 10/28

H04B 10/02

(21)Application number : 08-244383

(71)Applicant : KOKUSAI DENSIN DENWA CO LTD
<KDD>

(22)Date of filing : 17.09.1996

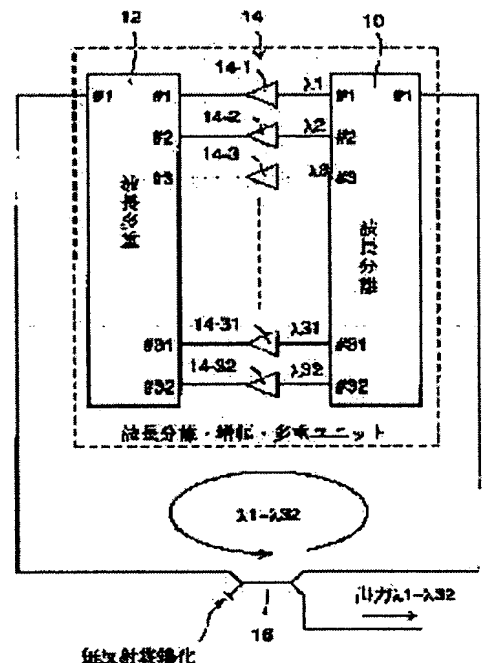
(72)Inventor : MIYAZAKI TETSUYA
EDAKAWA NOBORU
YAMAMOTO SHU

(54) MULTI PRE-WAVELENGTH LIGHT SOURCE AND VARIABLE DISCRETE WAVELENGTH LIGHT SOURCE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To output multi-wavelength lights of the matching intensity.

SOLUTION: A wavelength dividing element 10 (for example, a waveguide-type wavelength selecting filter) divides the input light into a plurality of wavelengths λ_1 to λ_{32} . Optical amplifiers 14-1 to 14-32 amplify the outputs of the element 10, respectively, and apply the amplified wavelengths to inputs of a wavelength multiplexing element 12, respectively. The wavelength multiplexing element 12 multiplexes the wavelength of each input. The output of the wavelength multiplexing element 12 is applied to a fiber coupler 16, and the fiber coupler 16 applies the one of its outputs to the wavelength dividing element 10. The gain of the optical amplifiers 14 is made greater by approximately 10dB than the loss of an optical loop which is formed by the element 10, the optical amplifiers 14, the element 12 and the fiber coupler 16. The outer output of the fiber coupler 16 is a wavelength-multiplexed light, having a wavelength of λ_1 to λ_{32} .



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 16.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 07.01.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

· [Date of extinction of right]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-93164

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁶ 識別記号
H 0 1 S 3/07
3/10
H 0 4 B 10/28
10/02

F I
H 0 1 S 3/07
3/10 Z
H 0 4 B 9/00 W

審査請求 未請求 請求項の数40 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平8-244383

(22) 出願日 平成8年(1996) 9月17日

(71) 出願人 000001214

国際電信電話株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72) 発明者 宮崎 哲弥

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

(72) 発明者 枝川 登

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

(72) 発明者 山本 周

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電
信電話株式会社内

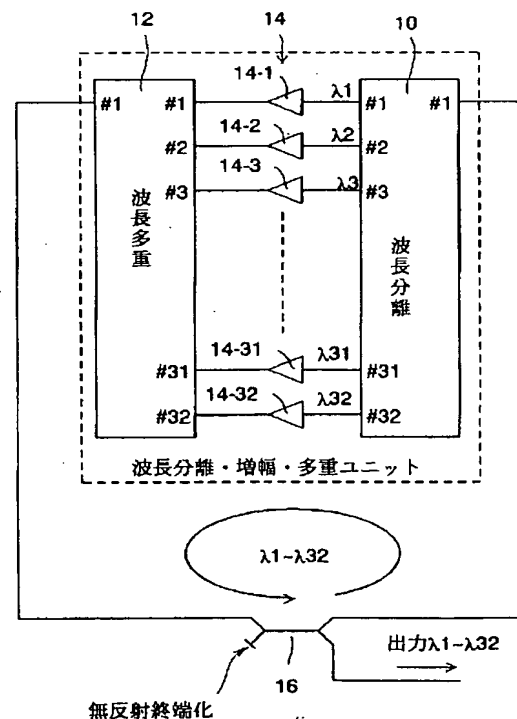
(74) 代理人 弁理士 田中 常雄

(54) 【発明の名称】 多波長光源及び離散波長可変光源

(57) 【要約】

【課題】 強度の揃った多波長光を出力する。

【解決手段】 波長分離素子10 (例えば、導波路型波長選択フィルタ) は、入力光を複数の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ に分離する。光増幅器14-1 \sim 14-32は素子10の各出力を増幅し、波長多重素子12の各入力ポートに印加する。波長多重素子12は各入力を波長多重する。波長多重素子12の出力はファイバ・カップラ16に印加され、ファイバ・カップラ16は一方の出力を波長分離素子10に印加する。光増幅器14の利得は、素子10、光増幅器14、素子12及びファイバ・カップラ16からなる光ループの損失より10dBほど大きなものにする。ファイバ・カップラ16の他方の出力が、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ の波長多重光になる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 多波長のレーザ光を出力する多波長光源であって、
入力光を複数の所定波長に分離する波長分離手段と、
当該波長分離手段により分離された各波長光を個別に増幅する複数の光増幅手段と、
当該複数の光増幅手段の出力光を波長多重する波長多重手段と、
当該波長多重手段の出力を当該波長分離手段の入力に接続する接続手段と、
当該波長分離手段、当該複数の光増幅手段及び当該波長多重手段からなる光ループを周回する光をループ外に取り出す出力取り出し手段とからなることを特徴とする多波長光源。

【請求項 2】 当該波長分離手段が、当該入力光を所定波長間隔の複数の所定波長に分離する波長分離手段である請求項 1 に記載の多波長光源。

【請求項 3】 当該波長分離手段が、導波路型波長選択フィルタである請求項 2 に記載の多波長光源。

【請求項 4】 当該波長分離手段が、各入力に 20 入力する所定の波長光を波長多重する請求項 1 に記載の多波長光源。

【請求項 5】 当該波長多重手段が、導波路型波長選択フィルタである請求項 4 に記載の多波長光源。

【請求項 6】 当該出力取り出し手段が、当該接続手段を伝搬する光を取り出す光分波手段である請求項 1 に記載の多波長光源。

【請求項 7】 更に、当該接続手段上に所定波長帯の光のみを透過する光帯域透過フィルタ手段を具備する請求項 1 に記載の多波長光源。

【請求項 8】 更に、当該光ループ上に、当該光ループを周回する光を変調信号に従って強度変調する光変調手段を設け、当該変調信号が当該光ループの周回周波数の整数倍の周波数を具備する信号であり、当該出力取り出し手段により取り出された光がパルス光になっている請求項 1 に記載の多波長光源。

【請求項 9】 当該光ループ上の各手段が偏波保持型手段である請求項 8 に記載の多波長光源。

【請求項 1 0】 更に、当該光変調手段の入力側に偏波調整手段を配置する請求項 8 に記載の多波長光源。

【請求項 1 1】 当該光増幅手段の各々が、当該波長多重手段への出力の供給／遮断を選択自在である請求項 1 に記載の多波長光源。

【請求項 1 2】 当該光増幅手段の各々が、当該波長分離手段の複数の出力光の内の、対応する出力光を増幅する光増幅器と、当該光増幅器の出力光を導通／遮断する光スイッチとからなる請求項 1 0 に記載の多波長光源。

【請求項 1 3】 多波長の一括変調されたレーザ光を出力する多波長光源であって、

入力光を複数の所定波長に分離し、個別に光増幅した後 50

に波長多重する波長分離・増幅・多重手段と、
当該波長分離・増幅・多重手段の出力光から所定偏波成分を抽出する偏光手段と、
当該偏光手段の出力光を分波する光分波手段と、
当該分波手段の一方の出力光の偏波を解消して波長分離・増幅・多重手段に入力する偏波解消手段と、
当該分波手段の他方の出力光を変調信号に従い変調する変調手段とからなることを特徴とする多波長光源。

【請求項 1 4】 更に、当該分波手段の一方の出力と当該偏波解消手段の入力との間に第 1 の偏波調整手段を配置した請求項 1 3 に記載の多波長光源。

【請求項 1 5】 更に、当該分波手段の他方の出力と当該変調手段の入力との間に第 2 の偏波調整手段を配置した請求項 1 3 に記載の多波長光源。

【請求項 1 6】 当該波長分離・増幅・多重手段が、入力光を所定波長間隔の複数の所定波長に分離する波長分離手段と、当該波長分離手段により分離された各波長光を個別に増幅する複数の光増幅手段と、当該複数の光増幅手段の出力光を波長多重する波長多重手段とからなる請求項 1 3 に記載の多波長光源。

【請求項 1 7】 当該波長分離手段及び当該波長多重手段が、導波路型波長選択フィルタである請求項 1 6 に記載の多波長光源。

【請求項 1 8】 多波長の A S E 光を出力する多波長光源であって、
入力光を複数の所定波長に分離し、個別に光増幅した後
に波長多重する波長分離・増幅・多重手段と、
当該波長分離・増幅・多重手段の出力光の波長を僅かにシフトして当該波長分離・増幅・多重手段の入力に戻す波長シフト手段と、

当該波長分離・増幅・多重手段及び当該波長シフト手段により周回する光を取り出す出力取り出し手段とからなることを特徴とする多波長光源。

【請求項 1 9】 当該波長分離・増幅・多重手段、当該波長シフト手段及び当該出力取り出し手段が偏波保持型である請求項 1 8 に記載の多波長光源。

【請求項 2 0】 更に、当該波長分離・増幅・多重手段の出力光の偏波を調整して当該波長シフト手段に供給する第 1 の偏波調整手段を具備する請求項 1 8 に記載の多波長光源。

【請求項 2 1】 更に、当該波長シフト手段の出力光から偏波を解消して当該波長分離・増幅・多重手段に供給する偏波解消手段を具備する請求項 1 8 に記載の多波長光源。

【請求項 2 2】 当該偏波解消手段が、当該波長シフト手段の出力光の偏波を調整する第 2 の偏波調整手段と、当該第 2 の偏波調整手段の出力光の偏波を解消する偏波解消素子とからなる請求項 2 1 に記載の多波長光源。

【請求項 2 3】 当該出力取り出し手段が、当該偏波解消手段の出力と当該波長分離・増幅・多重手段の入力と

の間に設けられる請求項 21 に記載の多波長光源。

【請求項 24】 当該波長シフト手段が、電気音響光変調器からなる請求項 18 に記載の多波長光源。

【請求項 25】 当該波長分離・増幅・多重手段が、入力光を所定波長間隔の複数の所定波長に分離する波長分離手段と、当該波長分離手段により分離された各波長光を個別に増幅する複数の光増幅手段と、当該複数の光増幅手段の出力光を波長多重する波長多重手段とからなる請求項 18 に記載の多波長光源。

【請求項 26】 当該波長分離手段及び当該波長多重手段が、導波路型波長選択フィルタである請求項 25 に記載の多波長光源。

【請求項 27】 複数の個別に変調された波長光を出力する多波長光源であって、

入力光を当該複数の所定波長に分離する波長分離手段と、

当該波長分離手段により分離された各波長光を個別に増幅する複数の光増幅手段と、

当該複数の光増幅手段の各出力光を分波する複数の分波手段と、

当該複数の分波手段の一方の出力光を波長多重し、当該波長分離手段に供給する第 1 の波長多重手段と、

当該複数の分波手段の他方の出力光を個別に変調自在な複数の光変調手段と、

当該複数の光変調手段の各出力を波長多重する第 2 の波長多重手段とからなることを特徴とする多波長光源。

【請求項 28】 当該波長分離手段が、当該入力光を所定波長間隔の複数の所定波長に分離する波長分離手段である請求項 27 に記載の多波長光源。

【請求項 29】 当該波長分離手段が、導波路型波長選択フィルタである請求項 28 に記載の多波長光源。

【請求項 30】 当該第 1 及び第 2 の波長分離手段が、各入力に入力する所定の波長光を波長多重する請求項 27 に記載の多波長光源。

【請求項 31】 当該第 1 及び第 2 の波長多重手段が、導波路型波長選択フィルタである請求項 30 に記載の多波長光源。

【請求項 32】 出力レーザ光の波長を離散的に選択自在な離散波長可変光源であって、
入力光から所定波長を選択的に分離し、光増幅する選択
分離・増幅手段と、

当該選択分離・増幅手段の出力光の一部を当該選択分離・増幅手段の入力に供給すると共に、当該選択分離・増幅手段の出力光の残りを外部に出力する光分波手段とからなることを特徴とする離散波長可変光源。

【請求項 33】 当該選択分離・増幅手段が、入力光を複数の所定波長に分離する波長分離手段と、当該波長分離手段の複数の波長出力光から 1 つを選択する第 1 の光スイッチ手段と、当該第 1 の光スイッチ手段の出力光を増幅する光増幅手段とからなる請求項 31 に記載の離散、

波長可変光源。

【請求項 34】 当該選択分離・増幅手段が更に、入力ポートに応じた波長多重特性で複数の入力光を波長多重する波長多重手段と、当該光増幅手段の出力光を、当該第 1 の光スイッチ手段で選択された波長に対応する、当該波長多重手段の入力ポートに供給する第 2 の光スイッチ手段とを具備する請求項 33 に記載の離散波長可変光源。

【請求項 35】 当該波長分離手段が、当該入力光を所定波長間隔の複数の所定波長に分離する波長分離手段である請求項 32 に記載の離散波長可変光源。

【請求項 36】 当該波長分離手段が、導波路型波長選択フィルタである請求項 35 に記載の離散波長可変光源。

【請求項 37】 当該波長多重手段が導波路型波長選択フィルタである請求項 34 に記載の離散波長可変光源。

【請求項 38】 更に、当該選択分離・増幅手段、及び当該光分波手段からなる光ループ上に、当該光ループを周回する光を変調信号に従って強度変調する光変調手段を設け、当該変調信号が、当該光ループを周回する周波数の整数倍の周波数を具備する信号であり、当該光分波手段の他方の出力光がパルス光になっている請求項 32 に記載の離散波長可変光源。

【請求項 39】 当該選択分離・増幅手段及び当該光分波手段が偏波保持型である請求項 38 に記載の多波長光源。

【請求項 40】 更に、当該光変調手段の入力側に偏波調整手段を配置する請求項 38 に記載の多波長光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、多波長光源及び離散波長可変光源に関し、より具体的には、波長分割多重伝送方式の伝送用又は試験用に適した、1 以上の波長光を同時的又は選択的に出力する多波長光源、及び複数の離散波長の 1 つを選択自在な離散波長可変光源に関する。

【0002】

【従来の技術】波長分割多重光伝送システムでは、多数の近接した波長のレーザ光を安定的に得られる必要がある。また、伝送試験又は波長分割多重光伝送システムで使用する光コンポーネントの試験には、波長と出力が高度に安定化されたレーザ光源が必要になる。

【0003】ITU では、波長分割多重光伝送方式で、波長間隔が 0.2 nm (25 GHz) が勧告化されようとしているが、当面は、波長間隔 0.8 nm (100 GHz) が研究及び実用化の目標とされている。半導体レーザは、波長変化の温度係数が約 0.1 nm/°C と温度変動に敏感であり、波長間隔 0.8 nm を多数の半導体レーザ光源で長期にわたり維持するのは容易ではない。更には、注入電流により光出力を安定化するのが普

通であるので、光出力安定化制御のための制御電流により温度が変化し、その結果、波長が変化する。即ち、光出力の制御が波長に影響するので、波長の安定化制御も困難になる。

【0004】そこで、従来、光フィルタと光増幅素子をリング状に接続して、多波長を一括出力する多波長光源が提案された。図15は、従来例の概略構成ブロック図を示す。ファブリペロー式光フィルタ210、エルビウム・ドープ光ファイバ増幅器212及び光ファイバ・カップラ214をリング状に接続した構成になっている。

【0005】図16は、図15に示す従来例の特性図を示す。図16(1)は、ファブリペロー形光フィルタ210の透過波長特性、同(2)は光ファイバ増幅器212の増幅特性、同(3)は、出力波長スペクトル波形である。ファブリペロー形光フィルタ210は波長選択光フィルタの一種であり、図16(1)に示すように、FSR(Free Spectral Range)と呼ばれる一定波長間隔毎の波長を透過する波長透過特性を具備する。光ファイバ増幅器212で生成される自然放出光がファブリペロー形光フィルタ210の各透過波長毎に選択される。出力波形スペクトル波形は、光フィルタ210の透過波長特性に光ファイバ増幅器212の増幅特性を乗算したものに合致する。理論的には光ファイバ増幅器212の利得が、光ループの損失を越える波長で、レーザ発振出力が得られる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】図15に示す従来例では、図16(3)に示すように、光ファイバ増幅器212の増幅帯域中で最も発振しやすい利得中心波長付近で出力強度が大きく、周辺部分では出力強度が大幅に低減する。即ち、従来例では、出力レベルの揃った多波長同時発振を実現できない。

【0007】また、従来例では、出力光の波長間隔は、専らファブリペロー形光フィルタ210の透過波長特性により決定される。波長間隔0.8nm(100GHz)では、ファブリペロー形光フィルタ210の透過波長特性の波長間隔FSRが、エルビウム・ドープ光ファイバ増幅器212の均一拡がり幅以下となる。従って、エルビウム・ドープ光ファイバ増幅器212の利得中心波長付近で複数の発振波長が得られたとしても、モード競合が発生し、各波長の出力強度と発振波長は不安定になる。

【0008】ファイバ・リング光源以外の多波長光源には、ファブリペロー形の半導体レーザがあるが、モード競合及びモード跳びなどの発振波長不安定性を無視できず、かつまた、各発振波長成分の強度を均一に調整できないという欠点がある。

【0009】本発明は、このような状況に鑑み、強度が均一な1以上の波長を同時に又は選択的に出力できる多波長光源及び離散波長可変光源を提示することを目的と

する。

【0010】本発明はまた、多波長又は複数の波長から1以上の波長を選択自在な多波長光源を提示することを目的とする。

【0011】本発明は更に、温度変動に強い多波長光源及び離散波長可変光源を提示することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明では、入力光を複数の所定波長に分離し、個別に光増幅して、波長多重する波長分離・増幅・多重ユニットの出力をその入力に接続することで光ループを形成する。波長分離・増幅・多重ユニットで各波長が個別に光増幅されるので、この光ループにより、複数の波長がほぼ同じ強度でレーザ発振できる。構造が簡単であり、多くは受動素子でもあることから、温度安定性に優れている。

【0013】入力光を所定波長間隔の複数の所定波長に分離する波長分離手段を使用することで、波長間隔の揃った多波長光を得ることができる。このような波長分離手段には、例えば、導波路型波長選択フィルタがある。

【0014】所定波長帯の光のみを透過する光帯域透過フィルタ手段を設けることで、所望の波長以外の波長が光ループを周回するのを防止できる。これにより、レーザ発振が安定化するだけでなく、不要な波長が出力に含まれるのを確実に防止できる。

【0015】光ループの周回周波数(具体的には、 c/nL)の整数倍の周波数を具備する変調信号で当該光ループを周回する光を強度変調する光変調手段を設けることで、多波長光を一括して、変調信号に同期したパルス光にできる。光変調手段は波長分離後でも、波長多重後のどちらに配置してもよい。波長分離後のときには、個々の波長に対して微調整しやすくなるが、波長数分の光変調手段が必要になる。波長多重後のときには、1つの光変調手段で済むが、個々の波長に対する調整は、他の部分で行なうことになる。光変調手段の入力側に偏波調整手段を設けて、光変調手段の動作が良好になるように偏波を予め調整する。勿論、必要な手段を偏波保持型とすれば、偏波調整手段は不要になり、素子数を削減できる。

【0016】光増幅手段の各々を、当該波長多重手段への出力の供給/遮断を選択自在とすることで、任意の選択された1以上の波長の多重出力光を得ることが出来る。当該光増幅手段の各々を、当該波長分離手段の複数の出力光の内の、対応する出力光を増幅する光増幅器と、当該光増幅器の出力光を導通/遮断する光スイッチ手段とすることで、遮断時に無用な雑音光が波長多重手段に入力しないようにできる。

【0017】本発明ではまた、入力光を複数の所定波長に分離し、個別に光増幅した後に波長多重する波長分離・増幅・多重手段の出力光を、偏光手段、光分波手段及び偏波解消手段を介して波長分離・増幅・多重手段に入

力する光ループを形成し、当該分波手段による分波光を変調信号に従い変調する変調手段を設ける。

【0018】この構成により、当該光ループで多波長同時発振する光を、当該変調手段により一括して変調できる。

【0019】偏光手段により偏波面変動を抑制するので、リング・キャビティ・モードが変動しにくくなり、その結果、多波長の同時発振が安定化する。適宜に配置した偏波調整手段により偏波面を各素子に適したものに
10するので、各素子の動作が安定化する。勿論、必要な手段を偏波保持型とすれば、偏光手段及び偏波調整手段は不要になり、素子数を削減できる。

【0020】本発明では更に、入力光を複数の所定波長に分離し、個別に光増幅した後に波長多重する波長分離・増幅・多重手段の出力を当該波長分離・増幅・多重手段の入力に接続して形成した光ループに、波長を僅かにシフトさせる波長シフト手段を設ける。これにより、レーザ発振が抑制され、多波長のASE (Amplified Spontaneous emission) 光源を実現できる。

【0021】適宜に配置した偏波調整手段及び偏波解消手段により偏波面を各素子に適したものにすることで、各素子の動作が安定化する。偏波解消後の光を光ループ外に取り出すことにより、偏波依存性の無い又は少ない出力光が得られる。勿論、必要な手段を偏波保持型とすれば、偏波調整手段は不要になり、素子数を削減できる。

【0022】本発明では更に、入力光を複数の所定波長に分離し、個別に光増幅した後に波長多重した光を入力に戻り光ループを形成し、多波長を同時発振させる。そして、当該波長分離・増幅・多重手段内で波長分離された光を個別に増幅した光を分波し、外部で個別に変調した後、波長多重する。これにより、各波長を個別に変調した多波長光を得ることができる。

【0023】本発明では更に、入力光から所定波長を選択的に分離し、光増幅する選択分離・増幅手段の出力を、当該選択分離・増幅手段の入力に接続して光ループを形成することで、当該選択分離・増幅手段で選択された1波長を出力光とすることができる。即ち、離散的な複数の波長の1つを自在に選択できる。予め決められた波長から選択するので、安定した波長の出力が得られる。適宜に配置した偏波調整手段により偏波面を各素子に適したものにすることで、各素子の動作が安定化する。勿論、必要な手段を偏波保持型とすれば、偏波調整手段は不要になり、素子数を削減できる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0025】図1は、本発明の一実施例の概略構成ブロック図を示し、図2は本実施例の波長特性を示す。

【0026】図1において、10は、入力ポート#1に

入力した光を複数の所定波長（本実施例では、 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ ）に分離する波長分離素子、12は、複数波長（本実施例では、 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ ）の光を波長多重する波長多重素子であり、具体的には、共に導波路型波長選択フィルタ（AWG）からなる。複数の波長を一括して分離多重できる光素子はAWGの他に、米国、Optical Corporation of America社の光分離多重フィルタがあり、この光素子も、波長分離素子10及び波長多重素子12として利用できる。

10 【0027】波長分離素子10の出力ポート#1～#32を、それぞれ光増幅器14（14-1～14-32）を介して波長多重素子12の入力ポート#1～#32に接続する。波長多重素子12の出力ポート#1をファイバ・カップラ16に接続し、ファイバ・カップラ16の2つの出力の内的一方を波長分離素子10の入力ポート#1に接続し、ファイバ・カップラ16の他方の出力を所望の多波長光として取り出す。ファイバ・カップラ16の使用しない出力端は、無反射終端化されている。これにより、フレネル反射による発振の不安定かを防止できる。以下の実施例でも、同様である。

20 【0028】光増幅器14は例えば、エルビウム・ドープ光ファイバ増幅器、励起光源及び励起光源の出力光を光ファイバ増幅器に供給する波長分離多重（WDM）カップラからなる。光増幅器14としてはまた、半導体レーザ増幅器及びラマン増幅器でもよい。

30 【0029】波長分離素子10及び波長多重素子12として使用するAWGの機能を簡単に説明する。AWGは、入力ポート#1に入力する波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ をそれぞれ出力ポート#1～#32から出力し、入力ポート#2～#32に、#1から出力し、以下同様に、入力ポート#32に入力する波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ を、それぞれ出力ポート#32、#1～#31から出力する光素子である。波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ の波長間隔は内部の干渉構造により決定される。従って、入力ポート#1に波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ の波長分割多重光が入力されると、各波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ は波長分離されて、それぞれ出力ポート#1～#32から出力される。逆に、入力ポート#1～#32にそれぞれ波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ の光が入力すると、出力ポート#1から、それら入力波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ を波長多重した光が出力される。

40 【0030】AWGでは周期性があり、これらの波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ はいわば基本波であり、これより長い波長 $\lambda 1' \sim \lambda 32'$ 、 \dots 及び短い波長 $\lambda 1'' \sim \lambda 32''$ も同様に波長分離及び波長多重される。

【0031】波長分離素子10の各出力ポートを、これと同じポート番号の波長多重素子12の入力ポートに接続した場合の合成透過波長特性を図2（1）に示す。本実施例では、波長分離素子10及び波長多重素子12が

32×32型AWGからなるので、透過波長特性は、先に説明したように、32波長を1周期としており、一般的にはこれがAWGのFSR (Free Spectral Range) と定義されている。本実施例で利用する $\lambda 1 \sim \lambda 32$ の外側に、図2(1)に示すように、 $\lambda 1'$ 、 $\lambda 2'$ ・・・と、・・・ $\lambda 31''$ 、 $\lambda 32''$ があり、例えば、波長分離素子10の入力ポート#1に入力した $\lambda 1'$ 、 $\lambda 32''$ はそれぞれ出力ポート#1、#32から出力される。

【0032】波長分離素子10及び波長多重素子12の合成透過波長特性で、各波長の透過波長幅が十分に狭ければ、後述するリング共振の縦モードを少数又は単一に制限できる。そのためには、波長分離素子10及び波長多重素子12の各透過波長特性で、各波長の透過波長幅を狭くする方法と、波長分離素子10の透過波長特性と波長多重素子12の透過波長特性を僅かにずらす方法がある。後者の場合、損失が増加するが、所望の波長幅を得やすいという利点がある。

【0033】各光増幅器14-1～14-32は、図2(1)のFSRの1周期、即ち図2(2)に示す $\lambda 1 \sim \lambda 32$ の波長範囲をカバーし、好ましくはその外側ではゲインが急減する増幅波長特性を具備するのが理想的である。実際には、入手できる光増幅器の増幅波長特性から、その増幅波長特性に合致するFSRを具備するAWGを波長分離素子10及び波長多重素子12として使用する。光増幅器14の増幅利得は、波長分離素子10、光増幅器14、波長多重素子12及びファイバ・カップラ16からなるループを一巡する損失より、ほぼ10dB程度、大きくした。

【0034】原理的には、各光増幅器14-1～14-32は、その利得中心波長が、割り当てられた1つの波長を包含できればよい。しかし、それぞれに異なる利得中心波長の光増幅器を製造するのでは、製造するのも組み立てるのも面倒であり、各光増幅器14-1～14-32は同じ増幅波長帯域を具備するのが好ましい。この見地からは、図2(2)に示すように、AWG10、12の1周期、即ち1FSRに対してほぼ平坦であり、その外側でゲインが急減する増幅波長特性が好ましいことになる。

【0035】波長分離素子10と波長多重素子12の合成透過波長特性(図2(1))と光増幅器14-1～14-32の増幅波長特性(図2(2))とから、図1に示す実施例のループ・ゲインは、各波長 $\lambda 1$ 、・・・ $\lambda 32$ でピークを描き、ファイバ・カップラ16から光ループ外に出力される出力光のスペクトラムは、図2

(3)に示すようになる。波長分離素子10と波長多重素子12の透過中心波長が一致し、且つ、透過率が波長に対して均一であって、光増幅器14-1～14-32のゲインもほぼ同じであることから、ファイバ・カップラ16により取り出される出力光の各波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$

の光強度は、ほぼ同じ強さになる。AWGでは、波長分離及び波長多重の際の、各波長の損失のばらつきは、製作時に3～4dB以下に容易に制御でき、この程度のばらつきであれば各光増幅器14-1～14-32の増幅利得を微調整することで補償できる。

【0036】各光増幅器14-1～14-32は、1つの波長の光しか増幅しないので、モード競合が発生せず、安定的に入力光を増幅できる。従って、本実施例では、各波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ の多波長発振を実現でき、しかも各波長の強度をほぼ同じに出来る。

【0037】波長分離素子10及び波長多重素子12の一方、好ましくは波長分離素子10が、入出力特性について波長周期性を有しなければ、問題無い。しかし、波長分離素子10(及び波長多重素子12)が、波長周期性を有し、その波長分離特性のFSRが、光増幅器14の増幅帯域より狭く、光増幅器14の増幅帯域内に2つのFSRが包含されるようになる場合には、波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ の外側の波長、例えば、波長 $\lambda 1'$ や波長 $\lambda 32''$ についても、ループ・ゲインが存在することになり、モード競合又は発振不安定化をもたらしかない。

【0038】これを防ぐには、ループ内に、波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ のみを通す光バンドパス・フィルタを設ければよい。図3は、その変更実施例の概略構成ブロック図である。20は、図1の波長分離素子10、波長多重素子12及び光増幅器14からなる波長分離・増幅・多重ユニットであり、22は、波長分離・増幅・多重ユニットの出力光から波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$ のみを通す光バンドパス・フィルタ(光BPF)、24は、光BPFの出力光を2分割し、一方を波長分離・増幅・多重ユニット20に供給し、他方を多波長出力として取り出すファイバ・カップラである。

【0039】図4は、波長分離素子10及び波長多重素子12としてAWGを使用し、光増幅器14の増幅帯域内に、そのAWGの2つのFSRが含まれる場合の波形図を示す。図4(1)は、波長分離素子10及び波長多重素子12に使用したAWGの透過波長特性、同(2)は光増幅器14の増幅特性である。同(3)は、光BPF22を設けない場合の、光増幅器14-1を透過する光の波長特性である。このように、3つの波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 1'$ 、 $\lambda 1''$ が光増幅器14-1を透過し、増幅されるので、これらの波長が競合し、肝心の波長 $\lambda 1$ の発振が不安定化する。

【0040】図4(4)は、光BPF22の透過特性を示し、同(5)は光BPF22を設けた場合の、光増幅器14-1を透過する光の波長特性を示す。光BPFにより基本波($\lambda 1 \sim \lambda 32$)のみがループを周回できるので、このときには、波長 $\lambda 1$ のみが光増幅器14-1に入力し、増幅される。

【0041】このようにして、図3に示す実施例では、基本波(波長 $\lambda 1 \sim \lambda 32$)以外の波長が光BPF22

により除去され、ループを周回しないので、波長分離素子 10（及び波長多重素子 12）の波長分離特性が周回的で、基本波以外の波長も分離するものであり、且つ、光増幅器 14 が基本波以外の波長をも十分に増幅できるものであっても、基本波のみを安定的に多波長レーザ発振させることができる。

【0042】ファイバ・カップラ 16、24 から取り出される出力光に含まれる各波長の波長間隔は、波長分離素子 10 及び波長多重素子 12 の波長選択性能により決定される。波長間隔 100 GHz（0.8 nm）又はその整数倍になるように、AWG を設計製造することは容易であるので、0.8 nm 程度の波長間隔で多波長発振させることは、十分に実現可能である。

【0043】図 5 は、実際に実験した結果の波形例を示す。この実験では、波長分離素子 10 及び波長多重素子 12 として波長間隔 0.7 nm の AWG を使用し、1 つおきの 4 つのポートについて同じ番号同士を光増幅器を介して接続した。1.4 nm 間隔の 4 つの波長が、ほぼ同じ光強度で同時発振していることが分かる。再度・モード抑圧比が 35 dB、信号レベル対背景雑音レベル比が約 60 dB と、極めて良好であった。

【0044】石英系 AWG の温度係数は半導体レーザよりも 1 桁小さい約 0.01 nm/°C であり、波長分離素子 10 及び波長多重素子 12 として使用する 2 個の AWG に施す温度制御精度は、波長多重に用いる信号光を発生する信号用半導体レーザに比べて 1/10 に緩和される。また、光増幅器 14 の励起光源（例えば、波長 1.48 nm 程度の半導体レーザ）の温度制御精度は、信号用半導体レーザに要求される精度ほど高くないので、励起光源の温度制御も簡略化出来る。即ち、本実施例では、全体として温度制御が容易且つ簡単になり、安価に製造できる。

【0045】本実施例では、また、出力光波長の調整変更も容易である。波長分離素子 10 及び波長多重素子 12 として使用する AWG の温度を適当に選択することで、同じ波長間隔を保ちつつ、 $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ をより長い波長又はより短い波長にシフトさせることができるからである。

【0046】通常、光増幅器 14 は、個々に励起光源を具備するが、1 つの励起光源で複数の光増幅器のエルビウム・ドープ光ファイバを励起するようにしてもよい。図 6 は、その変更実施例の変更部分の概略構成ブロック図を示す。図 1 と同じ構成要素には同じ符号を付してある。波長分離素子 10 の出力ポート #1 は、光アイソレータ 30-1、エルビウム・ドープ光ファイバ 32-1 及び波長分割多重（WDM）カップラ 34-1 を介して波長多重素子 12 の入力ポート #1 に接続する。同様に、波長分離素子 10 の出力ポート #2 は、光アイソレータ 30-2、エルビウム・ドープ光ファイバ 32-2 及び波長分割多重カップラ 34-2 を介して波長多重素

子 12 の入力ポート #2 に接続する。

【0047】1.48 μm の励起用半導体レーザ 36 の出力光は、3 dB カップラ 38 により 2 分割され、その一方が WDM カップラ 34-1 を介してエルビウム・ドープ光ファイバ 32-1 に供給され、他方が、WDM カップラ 34-2 を介してエルビウム・ドープ光ファイバ 32-2 に供給される。光アイソレータ 30-1、30-2 は、エルビウム・ドープ光ファイバ 32-1、32-1 に対する励起光が波長分離素子 10 の出力ポート #1、#2 に入力するのを防止する。

【0048】このようにして、光増幅器 14-1 と同 14-2 の励起光源を 1 つにできる。その他の光増幅器 14-3 ~ 14-32 も同様にすることで、励起光源の数を通常の半分にできる。

【0049】波長分離多重光伝送システムの伝送試験には、多波長を一括した変調光があると便利である。そこで、得られた多波長光を一括して変調する実施例を説明する。図 7 は、その概略構成ブロック図を示す。40 は、図 1 の波長分離素子 10、光増幅器 14 及び波長多重素子 12（並びに図 3 の光 BPF 22）からなる波長分離・増幅・多重ユニットであり、その出力光はポラライザ 42 を介してファイバ・カップラ 44 に入力する。ファイバ・カップラ 44 の一方の出力は、偏波調整器 46 及びデポラライザ（偏波解消器）48 を介して波長分離・増幅・多重ユニット 40 に入力する。ファイバ・カップラ 44 の別の出力は、偏波調整器 50 を介して外部光変調器 52 に入力する。

【0050】波長分離・増幅・多重ユニット 40、ポラライザ 42、ファイバ・カップラ 44、偏波調整器 46 及びデポラライザ 48 からなるファイバ・リング又はループにより、図 1 に示す実施例と同様にして多波長が同時に、且つほぼ同じ強さでレーザ発振する。その多波長光はファイバ・カップラ 50 によりファイバ・リングから取り出される。

【0051】波長分離・増幅・多重ユニット 40 でも、波長分離と波長多重の合成透過波長特性は、縦モードを少数又は単一にできるように、各波長の透過波長幅を十分に狭いものにする。図 1 に関連して説明したように、波長分離素子及び波長多重素子の各透過波長特性として各波長の透過波長幅を狭くする方法と、波長分離素子の透過波長特性と波長多重素子の透過波長特性を僅かにずらす方法がある。

【0052】ポラライザ 42 を設けることで、ファイバ・リングにおける偏波変動が抑圧される。波長分離・増幅・多重ユニット 40 での干渉を防ぐため、その入力光についてデポラライザ 48 により偏波を解消する。ポラライザ 42 による偏光状態が維持されていると、外部変調器 52 において干渉その他の不都合が生じる可能性があるので、偏波調整器 50 により外部変調器 52 に支障無いように偏波を調整する。また、デポラライザ 48 に

よる偏波解消を効果的にするために、その入力光の偏波を偏波調整器 46 により調整する。

【0053】波長分離・増幅・多重ユニット 40、ポラライザ 42、ファイバ・カップラ 44、偏波調整器 46 及びデポラライザ 48 からなるファイバ・リングを光が周回する間に、図 1 に示す実施例と同様に多波長が同時レーザ発振する。その同時レーザ発振の多波長光は、ファイバ・カップラ 44 により取り出され、偏波調整器 50 を介して外部変調器 52 に印加される。外部光変調器 38 は、入力した多波長光を外部からの変調信号に従って一括して変調する。変調された光は、伝送用ファイバ等に供給される。

【0054】ファイバ・リング内で偏波が変動すると、リング・キャビティ・モードが変動し、その結果、多波長の同時発振が不安定化するが、本実施例では、ポラライザ 42 により偏波面変動を抑制しているため、このような発振の不安定化を抑制できる。しかし、波長分離・増幅・多重ユニット 40（波長分離素子 10、波長多重素子 12 及び光増幅器 14）及びファイバ・カップラ 16 を偏波保持型とすれば、ポラライザ 42、デポラライザ 48 及び偏波調整器 46、50 は不要である。

【0055】図 7 に示す実施例でも、所望波長帯以外の波長帯の光がループするのを予め防止する必要がある場合には、ファイバ・リングの所望の位置（波長分離・増幅・多重ユニット 20 内又は外）に、図 3 に示す実施例における光 BPF 22 と同様の光 BPF を設ける。

【0056】光コンポーネントの特性を試験するには、レーザ発振しない多波長の ASE (Amplified Spontaneous emission) 光源が望まれる。本発明によれば、このような多波長 ASE 光源も容易に実現できる。図 8 は、その実施例の概略構成ブロック図を示す。

【0057】図 8 の構成を説明する。60 は、波長分離・増幅・多重ユニット 40 と同様の波長分離・増幅・多重ユニットであり、その出力光は偏波調整器 62 を介して音響光学 (Acoustic Optical) 変調器 64 に入力する。A/O 変調器 64 の出力は偏波調整器 66 及びデポラライザ 68 を介してファイバ・カップラ 70 に入力する。ファイバ・カップラ 70 の一方の出力は波長分離・増幅・多重ユニット 60 に入力し、ファイバ・カップラ 70 の別の出力が、多波長 ASE 光として取り出される。

【0058】A/O 変調器 64 は、入力光の波長を僅かにシフトして出力する。従って、波長分離・増幅・多重ユニット 60、偏波調整器 62、A/O 変調器 64、偏波調整器 66、デポラライザ 68 及びファイバ・カップラ 70 からなるファイバ・リングを周回する光は、A/O 変調器 64 により波長を僅かにシフトされるので、レーザ発振することができず、単に自然放光を増幅したもの、即ち、ASE 光になる。A/O 変調器 64 によ

ても、多波長性は失われないので、結局、ファイバ・カップラ 70 から取り出された光は、多波長の ASE 光になる。

【0059】A/O 変調器 64 における干渉、その他の不具合を避けるために、偏波調整器 62 により A/O 変調器 64 の入力光の偏波を調整する。A/O 変調器 64 の出力光を一定の偏波状態にしたままでは、波長分離・増幅・多重ユニット 60 で不都合が生じる可能性があるため、偏波調整器 66 及びデポラライザ 68 により、特定の偏波状態を解消しておく。偏波調整器 66 及びデポラライザ 68 をファイバ・カップラ 70 と波長分離・増幅・多重ユニット 60 の入力との間に、設けてもよいが、図 8 に示すように、偏波調整器 66 及びデポラライザ 68 を A/O 変調器 64 とファイバ・カップラ 70 との間に設けることで、ファイバ・カップラ 70 から取り出した多波長 ASE 光は、偏波依存の無いものになり、波長分割多重光に対する光コンポーネントの特性（例えば、増幅特性や損失特性）を試験するのに、使用しやすいものになる。

【0060】図 7 に示す実施例では、多波長光を一括して変調したが、実際の伝送試験又は伝送用には、各波長を個別にデータ変調するのが好ましい。

【0061】図 9 は、各波長を個別に変調する実施例の概略構成ブロック図を示す。80 は、波長分離素子 10 と同様の波長分離素子、82 は、波長多重素子 12 と同様の波長多重素子であり、波長分離素子 80 の各出力ポートは、光増幅器 14 と同様の光増幅器 84（84-1～84-32）を介して、同じ番号の波長多重素子 82 の入力ポートに接続する。波長多重素子 82 の波長多重出力は、波長分離素子 80 の入力に接続する。図 9 に示す実施例でも必要により、波長多重素子 82 の出力と波長分離素子 80 の入力との間などに、図 3 に示す実施例における光 BPF 22 と同様の光 BPF を設ける。

【0062】本実施例では、多波長光をそのまま取り出すことをしないので、ファイバ・カップラ 16 に対応するファイバ・カップラは設けられていない。その代わりに、光増幅器 84-1～84-32 の各出力を分波するファイバ・カップラ 86（86-1～86-32）を設ける。ファイバ・カップラ 86-1～86-32 により取り出された光は、外部変調器 88（88-1～88-32）に印加される。外部変調器 88（88-1～88-32）には、個別の変調信号 #1～#32 が印加されている。外部変調器 88-1～88-32 の出力光は、波長多重素子 90 に印加される。波長多重素子 90 は、波長多重素子 82 と全く同じ素子からなる。

【0063】波長分離素子 80、波長多重素子 82、光増幅器 84、ファイバ・カップラ 86 は偏波保持型である。これらが偏波保持型でない場合、波長分離素子 80、光増幅器 84 及び波長多重素子 82 からなるループ内に、図 7 に示す実施例のように、ポラライザ 42、偏

波調整器 4 6 及びデポライザ 4 8 に相当する素子を設置する必要がある。

【0064】波長分離素子 8 0 と波長多重素子 8 2 の合成透過波長特性は、縦モードを少数又は単一にできるように、各波長の透過波長幅を十分に狭いものにする。図 1 に関連して説明したように、波長分離素子 8 0 及び波長多重素子 8 2 の各透過波長特性で各波長の透過波長幅を狭くする方法と、波長分離素子 8 0 の透過波長特性と波長多重素子 8 2 の透過波長特性を僅かにずらす方法がある。

【0065】図 9 に示す実施例の動作を説明する。波長分離素子 8 0、光増幅器 8 4 及び波長多重素子 8 2 からなるループにより、図 1 に示す実施例と同様に、多波長が同時に且つほぼ同じ強さでレーザ発振する。レーザ発振する各波長は、ファイバ・カップラ 8 6-1~8 6-3 2 により個別に取り出され、外部変調器 8 8-1~8 8-3 2 に印加される。外部変調器 8 8-1~8 8-3 2 は、各入力光をそれぞれ変調信号 # 1~# 3 2 により変調する。これにより、各波長を別々の変調信号 # 1~# 3 2 により変調した光を得ることができる。波長多重素子 9 0 は外部変調器 8 8-1~8 8-3 2 の出力光を波長多重し、外部の光ファイバ伝送路等に供給する。これにより、実際の伝送条件で伝送試験を行なえる。

【0066】波長多重素子 9 0 は、単に外部変調器 8 8-1~8 8-3 2 の出力光を合波できればよく、波長多重素子 8 2 と同じ波長多重性能を持つ必要は無い。

【0067】一定波長間隔の多数の波長の内の、任意の 1 又は複数の波長を取り出したい場合がある。このような要求に対しては、図 1 に示す実施例を、図 1 0 に示すように変更すればよい。即ち、光増幅器 1 4-1~1 4-3 2 の出力と、波長多重素子 1 2 の入力ポートとの間に、光スイッチ 9 2 (9 2-1~9 2-3 2) を挿入する。光スイッチ 9 2-1~9 2-3 2 の内の任意の光スイッチをオンすることで、それに対応する波長のみがファイバ・リングを周回してレーザ発振し、ファイバ・カップラ 1 6 から取り出される。例えば、光スイッチ 9 2-4 のみをオンにした場合、波長 λ_4 のみがレーザ発振し、ファイバ・カップラ 1 6 から取り出される。光スイッチ 9 2-1~9 2-3 2 を 1 つおきにオンすることで、波長分離素子 1 0 (及び波長多重素子 1 2) の波長間隔の 2 倍の波長間隔の多波長光を得ることもできる。

【0068】図 1 に示す実施例を変更した図 3 に示す実施例と同様に、必要により、図 3 に示す実施例における光 BPF 2 2 と同様の光 BPF を設ける。

【0069】図 1 0 に示す実施例によれば、所定の複数波長の内で、任意の 1 又は複数の波長の光を得ることができる。即ち、離散的な波長可変光源として動作させることができ、また、波長間隔を選択できる多波長光源としても動作させることができる。

【0070】図 1 0 に示す実施例のような変更は、図

7、図 8 及び図 9 に示す各実施例にも適用できることは明らかである。

【0071】図 1 1 は、離散的な単一波長の波長可変光源を実現する実施例の概略構成ブロック図を示す。1 1 0 は波長分離素子 1 0 と同様の波長分離素子、1 1 2 は波長多重素子 1 2 と同様の波長多重素子である。1 1 4 は、波長分離素子 1 1 0 の複数 (実施例では 3 2 個) の出力ポートの 1 つを選択する 3 2×1 の光スイッチ、1 1 6 は光スイッチ 1 1 4 の出力光を増幅する光増幅器、1 1 8 は、光増幅器 1 1 6 の出力を、波長多重素子 1 1 2 の複数 (実施例では 3 2 個) の入力ポートに切り換える 1×3 2 の光スイッチである。

【0072】光スイッチ 1 1 4、1 1 8 は同じスイッチ切り換え信号により、連動して切り換えられる。即ち、光スイッチ 1 1 4、1 1 8 はそれぞれ、波長分離素子 1 1 0 の複数の出力ポート及び波長多重素子 1 1 2 の複数の入力ポートのうち、同じ番号のポートを選択する。

【0073】光増幅器 1 1 6 は、波長分離素子 1 1 0 で分離される波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ の何れか 1 つを増幅するので、増幅帯域は、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ をカバーできていればよい。FSR の問題は生じない。

【0074】図 1 1 に示す実施例の動作を説明する。波長分離素子 1 1 0 で分離された波長 $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ の内、光スイッチ 1 1 4 で選択された波長が光増幅器 1 1 6 により増幅される。光増幅器 1 1 6 の出力は、光スイッチ 1 1 8 により波長多重素子 1 1 2 の、光スイッチ 1 1 4 により選択された波長分離素子 1 1 0 の出力ポートと同じ番号の入力ポートに入力する。従って、波長多重素子 1 1 2 は、光増幅器 1 1 6 により増幅された光を出力ポートからファイバ・カップラ 1 2 0 に出力する。ファイバ・カップラ 1 1 2 は、波長多重素子 1 1 2 からの光を 2 分割し、一方を波長分離素子 1 1 0 に供給し、他方を、出力光として外部に出力する。

【0075】波長分離素子 1 1 0、光スイッチ 1 1 4、光増幅器 1 1 6、光スイッチ 1 1 8、波長多重素子 1 1 2、及びファイバ・カップラ 1 2 0 からなるファイバ・リングで、光スイッチ 1 1 4、1 1 8 により選択された波長の光が周回し、レーザ発振する。

【0076】図 1 2 は、図 1 1 に示す実施例の出力の波長分布の一例を示す。図 1 2 では、波長 λ_i に対応する波長分離素子 1 1 0 の出力ポート # i 及び波長多重素子 1 1 2 の入力ポート # i がそれぞれ光スイッチ 1 1 4、1 1 8 により選択されている。図 1 2 で、太い実線で示したのが、実際にレーザ発振する波長であり、細い実線のものが、選択可能な波長である。

【0077】波長分離素子 1 1 0 のみで十分な波長選択性を持たせられる場合には、波長多重素子 1 1 2、従って光スイッチ 1 1 8 も無くてもよい。

【0078】図 1 3 は、多波長モードロック・パルス光源の実施例の概略構成ブロック図を示す。パルス光源で

10

20

30

40

50

は、時間軸上のパルス位相が安定しているのが望ましい。本実施例では、複数の波長についてモードロックされたパルス光を一括して得ることができる。

【0079】130は、図1の波長分離素子10、光増幅器14及び波長多重素子12、図10の波長分離素子10、光増幅器14-1〜14-32、光スイッチ92-1〜92-32及び波長多重素子12、又は、図11の波長分離素子110、光スイッチ114、光増幅器116、光スイッチ118及び波長多重素子112からなる波長分離・増幅・多重ユニットである。波長分離・増幅・多重ユニット120が、図1の波長分離素子10、光増幅器14及び波長多重素子12からなる場合には、多波長が同時レーザ発振し、図10の波長分離素子10、光増幅器14-1〜14-32、光スイッチ92-1〜92-32及び波長多重素子12からなる場合、又は、図11の波長分離素子110、光スイッチ114、光増幅器116、光スイッチ118及び波長多重素子112からなる場合には、選択された1又は複数の波長がレーザ発振する。

【0080】134は波長分離・増幅・多重ユニットの出力光を正弦波変調信号により変調する電気吸収型光変調器、136は電気吸収型光変調器134の出力光を2分割し、一方を波長分離・増幅・多重ユニット130に供給し、他方を出力光としてループ外に出力するファイバ・カップラである。

【0081】波長分離・増幅・多重ユニット130、電気吸収型光変調器134、及びファイバ・カップラ136からなるリング又はループのリング長を L 、実効屈折率を n 、光速を c としたとき、基本周波数 $f_0 = c / (nL)$ の整数倍の周波数の正弦波電圧を、変調信号として電気吸収型光変調器134に印加する。また、波長分離・増幅・多重ユニット130の波長分離素子（及び波長多重素子）の各波長の透過帯域幅は、周回基本周波数 f_0 に比べて十分に狭くする。

【0082】このような周波数条件により、波長分離・増幅・多重ユニット130、電気吸収型光変調器134及びファイバ・カップラ136からなるファイバ・リング又はループを周回する光は、電気吸収型光変調器134に印加される正弦波変調信号にモードロックし、しかも、その正弦波変調信号の山又は谷の部分で立ち上がるパルス状になる。これにより、多波長で、しかもモードロックした光パルス列を得ることができる。

【0083】厳密には、リング長 L 及び実効屈折率 n は、波長毎に異なるので、波長分離・増幅・多重ユニット130内で各波長の実効光路長を調整する必要がある。しかし、波長分離・増幅・多重ユニット130内の、各波長の光路、好ましくは光増幅器14の前段に電気吸収型光変調器（及び必要により偏波調整器）を接続し、それぞれに応じた位相及び周波数の正弦波変調信号を当該電気吸収型光変調器に印加して各波長を変調す

ばよい。1つの正弦波信号の位相及び周波数を個別に調整して各電気吸収型光変調器に変調信号として印加するようにすればよい。この場合は、波長数だけの数の電気吸収型光変調器（及び偏波調整器）が必要になり、図13に示す実施例に比べ、高価になってしまい、価格面で不利である。

【0084】図13に示す実施例でも所望の波長帯以外の波長がループするのを防止する必要がある場合には、図3に示す実施例における光BPF22と同様の光BPFを、適当な箇所、例えば、波長分離・増幅・多重ユニット130の出力と光変調器134との間等に設ける。

【0085】図10及び図11に図示した波長可変光源の各実施例を波長変換装置のポンプ光源として用いることで、ネットワーク内で許可された波長を有効利用できる。図14は、その実施例の概略構成ブロック図を示す。

【0086】図14において、140は、図10及び図11に図示した波長可変光源であり、波長分割多重光ネットワークで許容される波長を選択できるように、設計製造しておく。波長可変光源の出力光はポンプ光 λ_p として半導体レーザ増幅器142に印加される。他方、入力変調光 λ_s は、光サーキュレータ144の端子Aに入力する。光サーキュレータ144は、端子Aの入力光を端子Bから出力し、端子Bの入力光を端子Cから出力する光素子である。光サーキュレータ144の端子Bの出力光（変調光 λ_s ）は半導体レーザ増幅器142の、ポンプ光 λ_p とは反対の端面に入射する。

【0087】半導体レーザ増幅器142内でポンプ光 λ_p と変調光 λ_s は逆方向に進行する。ポンプ光 λ_p の強度を、半導体レーザ増幅器142の利得が飽和する程にしておくと、相互利得変調効果により、ポンプ光 λ_p が変調光 λ_s の強度波形に応じて波形変形される。即ち、ポンプ光 λ_p の波形は、変調光 λ_s の波形の反転波形とほぼ同じ波形になる。そのように波形変形されたポンプ光 λ_p は、光サーキュレータ144の端子Bに入力し、端子Cから出力される。光サーキュレータ144の端子Cから出力される光は、入力変調光 λ_s をポンプ光 λ_p の波長に波長変換したものになっている。

【0088】本発明を適用した離散波長可変光源140では、選択可能な波長を波長分割多重光ネットワークで許容されている波長に設定するのは容易である。これにより、入力変調信号 λ_s を波長変換した光信号の波長は、ネットワークで許容されている波長であり、ネットワークで許容される波長を再利用できる。波長可変光源140として、従来の多電極半導体レーザ等の様な連続波長可変光源を使用する場合、その出力光の波長を、ネットワークで許容されている何れかの波長に高精度に制御する必要があり、極めて複雑又は高価なものになってしまう。本発明を適用した離散波長可変光源では、スイッチ操作で適切な波長を選択できるので、波長制御とそ

の精度の問題は生じない。

【0089】波長変換機構には、この他に4波混合などがあり、半導体レーザ増幅器の代わりにファイバ増幅器、及び同一出願人による波長変換装置（平成8年特許願第233796号）に開示される吸収型光変調器等も利用できる。

【0090】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、強度の揃った多波長レーザ出力を得ることができる。波長分離手段として入力光を所定波長間隔で波長分離する素子を使用することにより、一定間隔波長の多波長光源を提供できる。構造が簡単であり、多くは受動素子でもあることから、温度安定性に優れている。

【0091】光ループの周回周波数の整数倍の周波数を具備する変調信号で当該光ループを周回する光を強度変調することにより、変調信号に同期した多波長パルス光を得ることができる。

【0092】波長分離された段階（好ましくは光増幅後）に波長多重手段への供給とその遮断を選択自在とすることで、任意の選択された1以上の波長の多重出力光を得ることができる。

【0093】本発明によれば、また、多波長レーザ光を一括して変調するのも、個別に変調するのも容易である。

【0094】光ループ内に波長シフト手段を設けることで、多波長のASE光源を実現できる。

【0095】入力光から所定波長を選択的に分離し、光増幅する選択分離・増幅手段の出力を、当該選択分離・増幅手段の入力に接続して光ループを形成することで、離散的な複数の波長の内の1波長を出力光とすることができる。即ち、離散的な複数の波長の1つを選択できる。予め決められた波長から選択するので、安定した波長の出力が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の概略構成ブロック図である。

【図2】 本実施例の波長特性である。

【図3】 変更実施例の概略構成ブロック図である。

【図4】 波長分離素子10及び波長多重素子12としてAWGを使用し、光増幅器14の増幅帯域内にそのAWGの2つのFSRが含まれる場合の波形図である。

【図5】 実験結果の波形例である。

【図6】 2つの光増幅器14-1、14-2の励起光源を共用する構成の概略構成ブロック図を示す。

【図7】 多波長光を一括して変調する実施例の概略構成ブロック図である。

【図8】 本発明による多波長ASE光源の実施例の概略構成ブロック図である。

【図9】 各波長を個別に変調する実施例の概略構成ブ

ロック図である。

【図10】 一定波長間隔の多数の波長の内の、任意の1以上の波長を取り出す実施例の概略構成ブロック図である。

【図11】 離散的な単一波長を出力する波長可変光源の実施例の概略構成ブロック図である。

【図12】 図11に示す実施例の出力の波長分布例である。

【図13】 多波長モードロック・パルス光源の実施例の概略構成ブロック図である。

【図14】 図10及び図11に図示した波長可変光源ポンプ光源とする波長変換装置の概略構成ブロック図である。

【図15】 従来の多波長光源の概略構成ブロック図である。

【図16】 図15に示す従来例の特性図である。

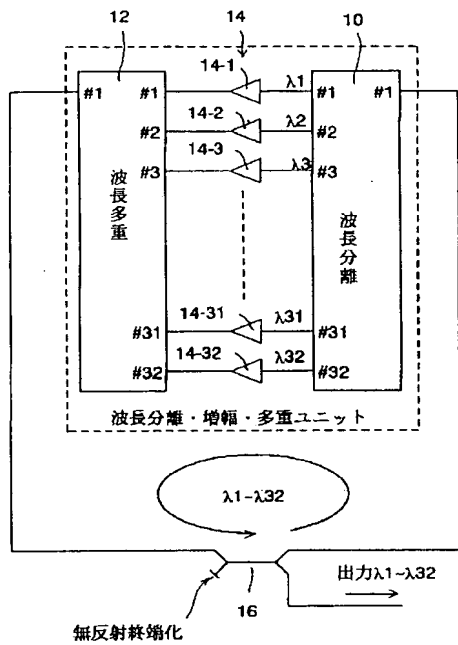
【符号の説明】

- 10：波長分離素子
- 12：波長多重素子
- 14（14-1～14-32）：光増幅器
- 16：ファイバ・カップラ
- 20：波長分離・増幅・多重ユニット
- 22：光バンドパス・フィルタ（光BPF）
- 24：ファイバ・カップラ
- 30-1、30-2：光アイソレータ
- 32-1、32-2：エルビウム・ドープ光ファイバ
- 34-1、34-2：波長分割多重（WDM）カップラ
- 36：励起用半導体レーザ
- 38：3dBカップラ
- 40：波長分離・増幅・多重ユニット
- 42：ポラライザ
- 44：ファイバ・カップラ
- 46：偏波調整器
- 48：デポラライザ（偏波解消器）
- 50：偏波調整器
- 52：外部光変調器
- 60：波長分離・増幅・多重ユニット
- 62：偏波調整器
- 64：音響光学（Acoustic Optical）変調器
- 66：偏波調整器
- 68：デポラライザ
- 70：ファイバ・カップラ
- 80：波長分離素子
- 82：波長多重素子
- 84（84-1～84-32）：光増幅器
- 86（86-1～86-32）：ファイバ・カップラ
- 88（88-1～88-32）：外部変調器
- 90：波長多重素子
- 92（92-1～92-32）：光スイッチ

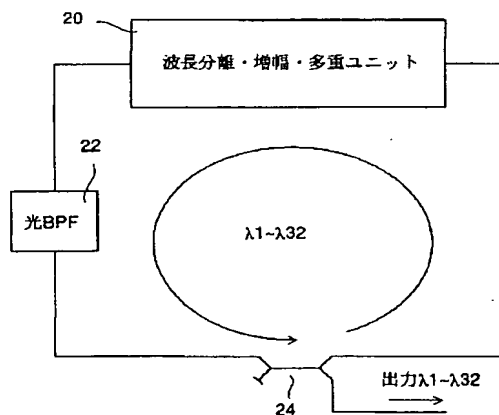
21

- 110 : 波長分離素子
- 112 : 波長多重素子
- 114 : 32×1 の光スイッチ
- 116 : 光増幅器
- 118 : 光スイッチ
- 120 : ファイバ・カップラ
- 130 : 波長分離・増幅・多重ユニット
- 134 : 電気吸収型光変調器

【図 1】



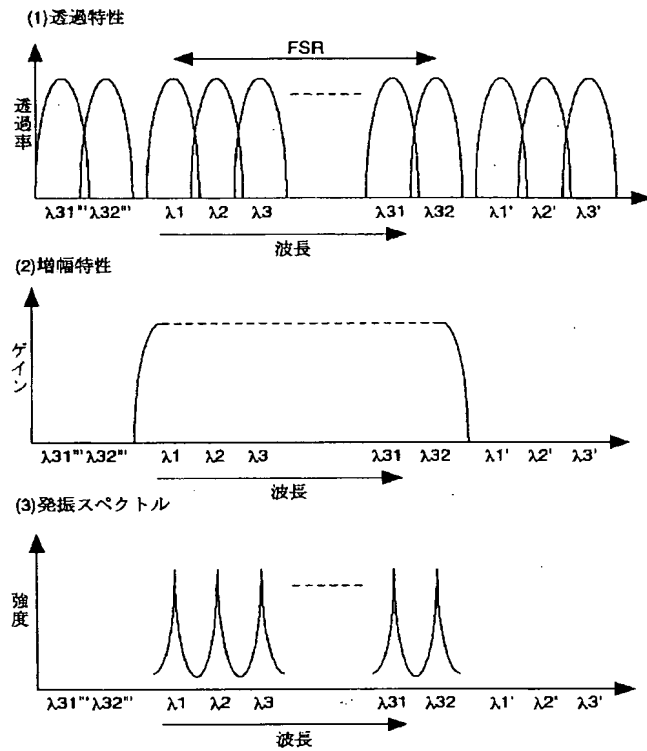
【図 3】



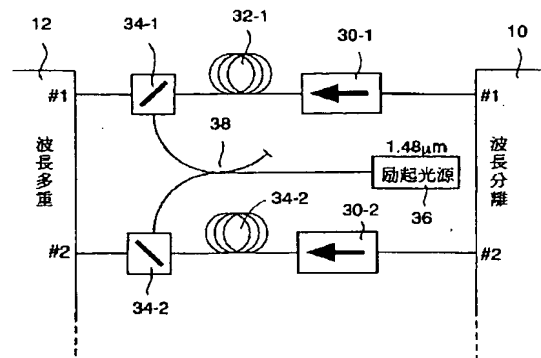
22

- 136 : ファイバ・カップラ
- 140 : 波長可変光源
- 142 : 半導体レーザ増幅器
- 144 : 光サーキュレータ
- 210 : ファブリペロー形光フィルタ
- 212 : エルビウム・ドープ光ファイバ増幅器
- 214 : ファイバ・カップラ

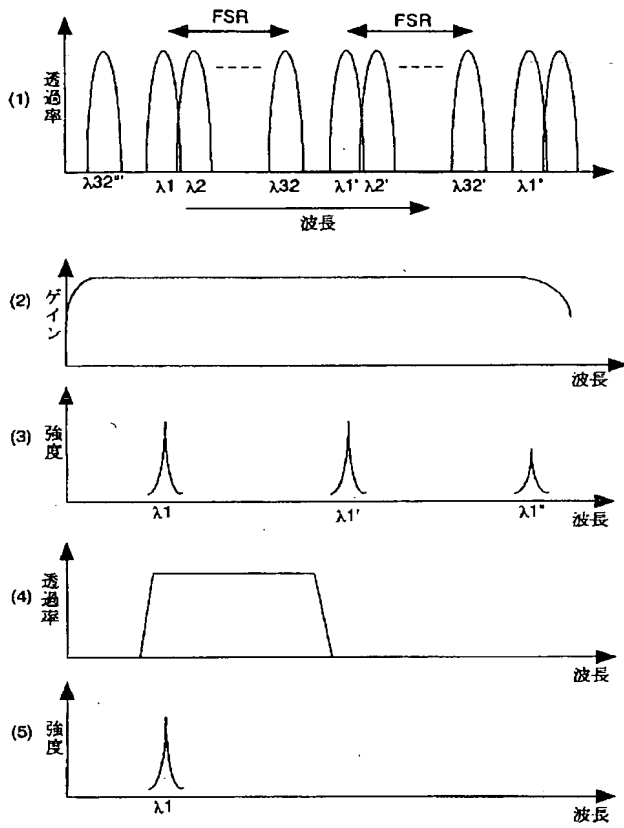
【図 2】



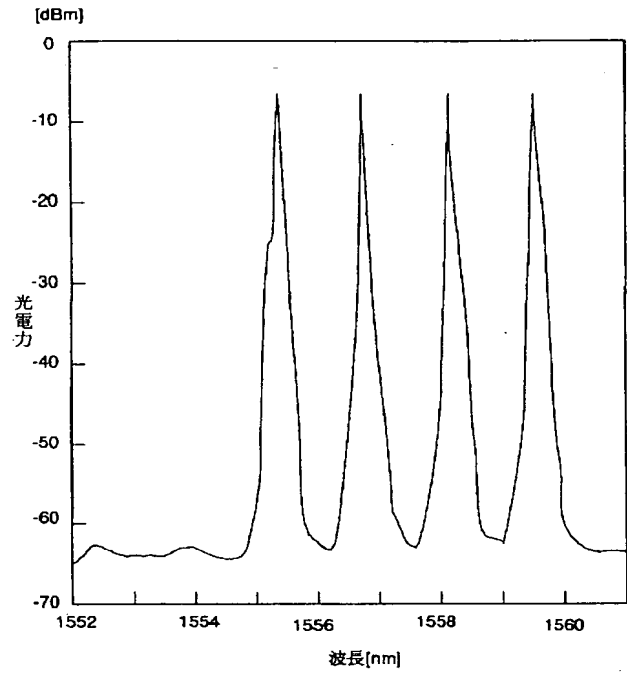
【図 6】



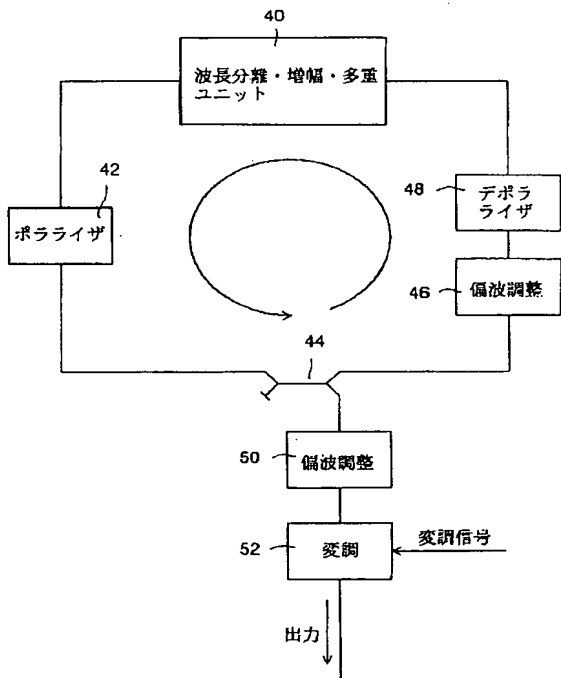
【図 4】



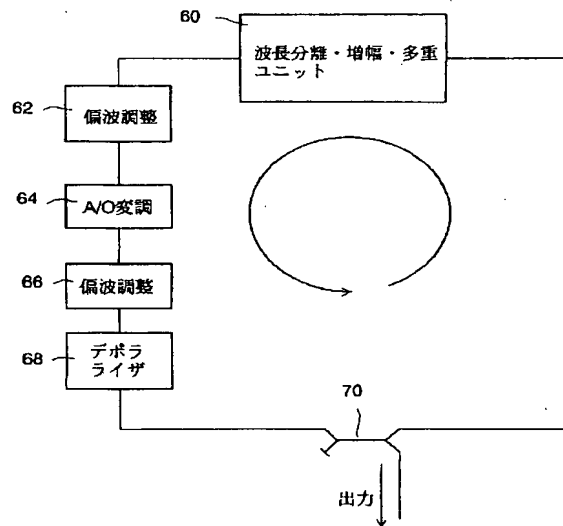
【図 5】



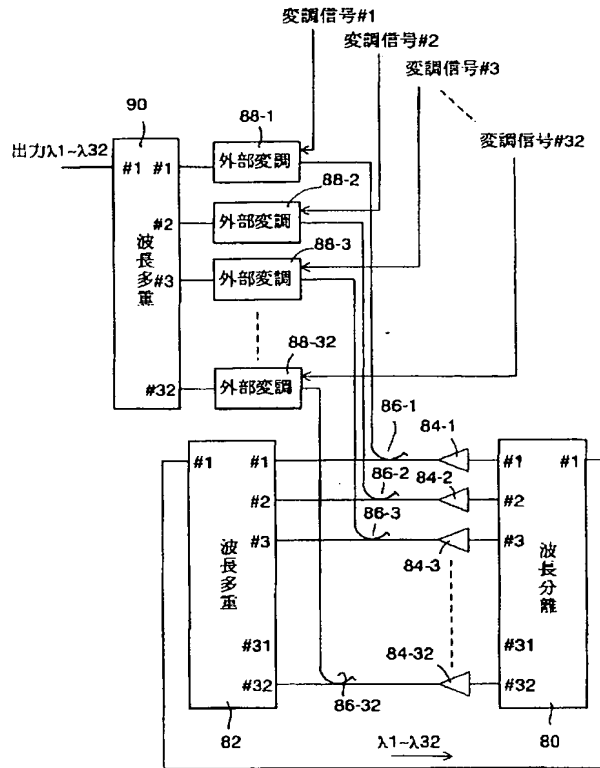
【図 7】



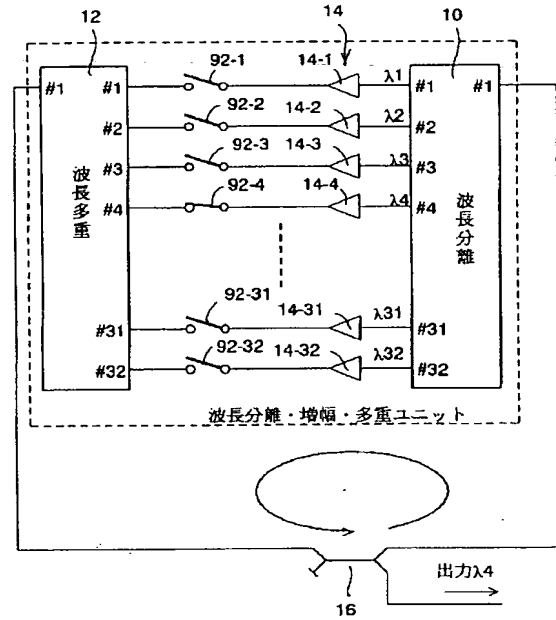
【図 8】



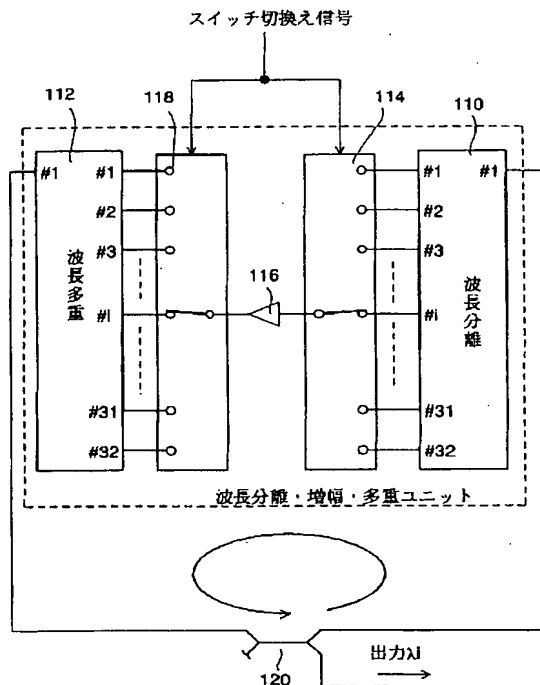
【図9】



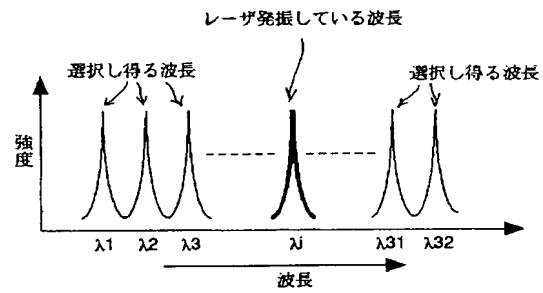
【図10】



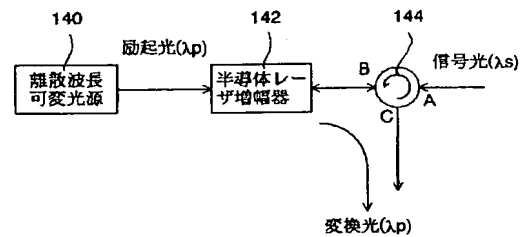
【図11】



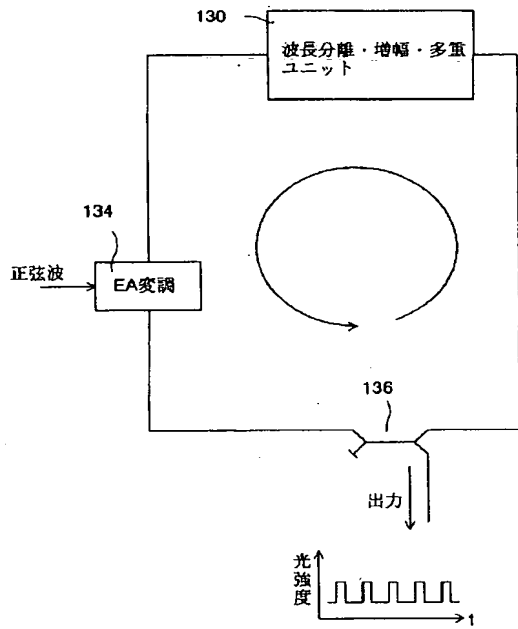
【図12】



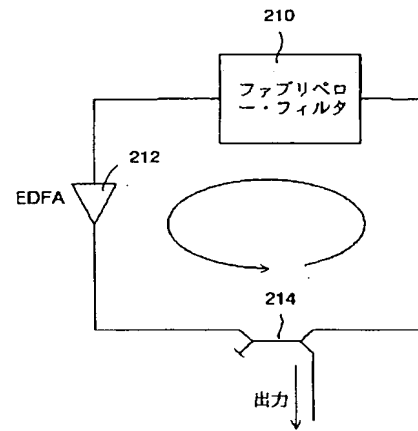
【図14】



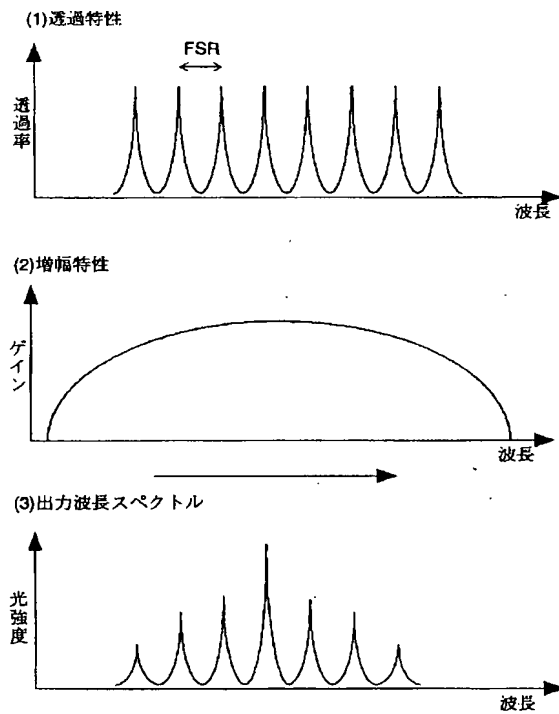
【図 13】



【図 15】



【図 16】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.